

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNEE 1951

THÈSE

672

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PRÉSENTÉE PAR

Jean-Edouard-Pierre TEXIER

Né le 30 Juillet 1921, à TOURS (Indre-et-Loire)

Présentée et soutenue publiquement le

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
DES ULTRA-SONS
EN THÉRAPEUTIQUE

Président : M. H. BENARD, Professeur

PARIS

LIBRAIRIE ARNETTE
2, RUE CASIMIR-DELAVIGNE, 2

1951

ANNEE 1951
—

THÈSE

N°
—

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PRÉSENTÉE PAR

Jean-Edouard-Pierre TEXIER

Né le 30 Juillet 1921, à TOURS (Indre-et-Loire)

Présentée et soutenue publiquement le

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES ULTRA-SONS EN THÉRAPEUTIQUE

Président : M. H. BENARD, Professeur

PARIS
LIBRAIRIE ARNETTE
2, RUE CASIMIR-DELAVIGNE, 2

1951

DOYENS HONORAIRES :

MM. BALTHAZARD, BAUDOUIN,

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. AUBERTIN, BALTHAZARD, BASSET, BAUDOUIN, BRINDEAU, E. BRUMPT, CARNOT, CHEVASSU, CHIRAY, CLERC, DELBET, GUILLAIN, HARTMANN, HEITZ-BOYER, LAIGNEL-LAVASTINE, LAURRY, LEMIERRE, LHERMITTE, LOEPER, MARION, MATHIEU, MULON, OMBREDANNE, ROUVIÈRE, SANNIÉ, SÉBILEAU, SÉZARY, TANON.

Doyen LÉON BINET.
Membre de l'Institut.
Assesseur JEAN VERNE.

I. — PROFESSEURS :

	MM.
Anatomie	OLIVIER.
Anatomie pathologique	LEROUX.
Assistance médico-sociale	N...
Bactériologie	GASTINEL.
Biologie médicale	VERNE.
Chimie médicale	POLONOVSKI.
Clinique de cardiologie	DONZELOT.
Cliniques chirurgicales	BROCC.
	CADENAT.
	MONDOR.
	QUÉNU.
	N...
Clinique chirurgicale infantile et d'orthopédie	FEVRE.
Clinique chirurgicale orthopédique	MERLE D'AUBIGNÉ.
Clinique gynécologique	FUNCK-BRENTANO.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	GOUGEROT.
Clinique des maladies des enfants	DEBRÉ.
Clinique des maladies infectieuses	MOLLARET.
Clinique des maladies mentales et de l'encéphale	DELAY.
Clinique des maladies du sang.....	CHEVALLIER.
Clinique des maladies du système nerveux	ALAJOUANINE.
Cliniques médicales	BÉNARD (H.).
	LAROCHÉ (Guy).
	LIAN.
	MOREAU.
Clinique médicale propédeutique	P. VALLERY-RADOT.
Clinique de Neuro-chirurgie	PETIT-DUTAILLIS.
Cliniques obstétricales	LANTUÉJOUL.
	LÉVY-SOLAL.
Clinique ophtalmologique	VELTER.
Clinique oto-rhino-laryngologique	LEMAITRE.
Clinique physio-pathologique des problèmes alimentaires (chaire à titre personnel).....	RICHET.
Clinique psychiatrique infantile	HEUYER.
Clinique de puériculture	LELONG.
Clinique stomatologique	DECHAUME.
Clinique thérapeutique chirurgicale	SÉNÈQUE.
Clinique thérapeutique médicale	CHABROL.
Clinique de la Tuberculose	BERNARD (Et.).

Clinique urologique	MM. FEY.
Embryologie	GIROUD.
Histoire de la médecine et de la chirurgie	BARIÉTY.
Histologie	CHAMPY.
Hydrologie thérapeutique et climatologie	JUSTIN-BESANÇON.
Hygiène et clinique de la première enfance	CATHALA.
Hygiène et médecine préventive	JOANNON.
Médecine du travail	DÉSOILLE.
Médecine légale	PIÉDELIEVRE.
Parasitologie et histoire naturelle médicale	GALLIARD.
Pathologie chirurgicale	DE GAUDART D'ALLAINES.
Pathologie exotique	LAVER.
Pathologie expérimentale et comparée	LEMAIRE
Pathologie médicale	N...
Pathologie et thérapeutique générales	DE GENNES.
Pharmacologie et matière médicale	HAZARD.
Physiologie	BINET (Léon).
Physique médicale	STROHL.
Radiologie médicale	DESGREZ (Henri).
Rhumatologie	COSTE.
Technique chirurgicale	MOULONGUET.
Thérapeutique	TURPIN.

PROFESSEURS SANS CHAIRE :

BULLIARD (*Histologie*), CORDIER (*Anatomie*), DOGNON (*Physique médicale*),
HALPHEN (*O. R. L.*), JAYLE M. (*Chimie médicale*),
M^{lle} J. LÉVY (*Pharmacologie*).

II. — AGREGES EN EXERCICE :

MM.		MM.	
	N...	Pathologie chirurgicale	PADOVANI.
Anatomie	DELMAS.		PATEL.
	N... ff DEBEYRE.		ROUX.
	DELARUE.	Pathologie expér.	RUDLER.
Anatomie pathologique	M ^{lle} GAUTHIER-		SICARD.
	VILLARS.		N.
Bactériologie	BONNET.		MERKLEN.
	FASQUELLE.		BROUET.
	ETTORI.		CACHERA.
Biochimie médicale	SCHAPIRA.	Pathologie médicale	DECOURT.
Dermato-Syphil. ligraphie	DEGOS.		DREYFUS (Gilbert).
	COUJARD.		FAUVERT.
Histologie	DESCLAUX.		GARCIN.
	DEBRAY.		HAMBURGER.
Hydrologie	BOYER.		KOURILSKY.
	DEPARIS.		LAMY.
Hygiène	DÉROBERT.		LENÈGRE.
Médecine légale .	PUECH.		MARCHAL.
Neurochirurgie.	DE SÈZE.		MAURIC.
Neurologie	DIGONNET.		SOULIÉ.
	MAYER.	Pédiatrie	LAPLANE.
	SUREAU.		MARIE (Julien).
	VARANGOT.	Pharmacologie ..	CHEYMOL.
Ophtalmologie ...	OFFRET.	Physiologie	BARGETON.
Oto-rhino-laryng..	AUBIN.		PARROT.
Parasitologie	BRUMPT, L. C.	Physique médic..	DJOURNO.
	FÈVRE.	Psychiatrie	BARUK.
Pathologie chirurgicale	HUGIER.	Thérapeutique	
	LÉGER.	Agr. ch. d'ens..	BROUET.
		Urologie	COUVELAIRE, R.

III. — PROFESSEURS HONORAIRES ET AGREGES RAPPELES A L'EXERCICE

pour le service des examens :

MM. BASSET (*Pathologie chirurgicale*), BRINDEAU (*Obstétrique*)
HUGUENIN (*Anatomie pathologique*), LE LORIER (*Obstétrique*)
GATELIER (*Clinique chirurgicale*), VAUDESCAL (*Obstétrique*).

IV. — PROFESSEURS SANS CHAIRE ET AGREGES CHARGES DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE à titre permanent :

MM.		MM.	
Clinique chirurgi- cale	{ AMELINE. MÉNEGAUX.	Clinique médicale {	HAGUENAU. MOUQUIN.
Clinique médicale	BOULIN.	Clinique obstétri- cale	{ ECALLE. LACOMME.
		Clinique ophtal- mologique	RENARD.
Secrétaire de la Faculté	J. MOREL.		
Secrétaire adjoint	M ^{lle} CHAINTREUIL.		
Bibliothécaire en Chef	Docteur A. HAHN.		
Bibliothécaires	M ^{les} DUMAITRE, GOICHON, LAURENT.		

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opi-
nions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être consi-
dérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune
approbation ni improbation.

A MES PARENTS

A MA FEMME

A MES ENFANTS

A MONSIEUR LE PROFESSEUR BENARD

Professeur de Clinique Médicale

Qui a bien voulu me faire l'honneur de
présider cette thèse.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR CATHALA

Professeur d'Hygiène et Clinique de la Première Enfance

A MONSIEUR LE PROFESSEUR MASCRE

Pharmacien des Hôpitaux de Paris

A MONSIEUR LE PROFESSEUR GUILLOT

Pharmacien des Hôpitaux de Paris

A MES MAITRES DANS LES HOPITAUX

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES ULTRA-SONS EN THÉRAPEUTIQUE

INTRODUCTION

Depuis la découverte des propriétés piezo électriques des cristaux anisotropes de quartz, et leurs applications par Langevin à la réalisation d'un appareil à ultra-sons, ces vibrations voient leur champ d'application s'étendre chaque jour à de nouveaux domaines.

En biologie, après l'étude de leurs effets sur les macromolécules de la matière vivante, puis sur les formes les plus élémentaires de la cellule : protophytes et protozoaires, on les applique aux animaux de laboratoire, puis enfin à l'homme ; et deux congrès en 1949 et 1950 confrontent les premiers résultats des applications thérapeutiques des U.S.

Après un rappel des premières phases de cette évolution, nous nous proposons d'examiner en particulier quels résultats fournit cette nouvelle thérapeutique, et comment elle agit.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES VIBRATIONS ELASTIQUES

I. — Echelle des sons

Dans l'échelle des vibrations élastiques, seule une zone très restreinte de fréquences est susceptible d'impressionner l'oreille humaine. Ces fréquences, comprises entre 2.000 et 20.000 vibrations-seconde (autrement dit entre 2 et 20 kilocycles) impressionnent l'oreille pour des puissances très faibles (puisque le seuil de perception pour la fréquence optima est de 10^{-16} watts). L'excitation dans ce cas suit les lois générales des impressions sensorielles et en particulier les lois Weber et Fechtner.

La sensibilité de l'oreille humaine peut être grossièrement schématisée par une surface en forme de citron : l'audiogramme qui est tracé par rapport à un système de coordonnées représentant en abscisses les fréquences et en ordonnées les puissances qui peuvent varier dans l'ordre de 10^{-5} à 10^{-7} microwatts par m². Les vibrations en dehors de cette zone ne sont pas perçues et notamment les fréquences au-dessus de 20.000, qui représentent le domaine des ultra-sons.

Certains récepteurs animaux présentent une réceptivité plus étendue dans le domaine des hautes fréquences et il est classique de citer :

le chien, qui peut répondre à l'appel d'un sifflet ultra-sonique ;
la chauve-souris, chez laquelle un appareil émetteur-récepteur
d'U.S. de fréquence 30 à 80 Kc. lui permet d'orienter
son vol parmi les obstacles ;

les poissons, dont la ligne médiane est constituée par une série
de petits récepteurs adaptés à la perception en
milieu aqueux ;

les phalènes, les papillons de nuit, etc...

Notons que la fréquence de 20 Kc. est la limite extrême d'audition chez un homme jeune et que pratiquement la limite supérieure de l'audition est à 16 Kc. C'est de cette limite que l'on fait partir habituellement les U.S.

Actuellement, les fréquences les plus élevées obtenues correspondent à 30 mégacycles. Celles utilisées le plus couramment en thérapeutique étant de l'ordre de 1.000 Kc.

II. — Données physiques

A. — FRÉQUENCE — LONGUEUR D'ONDES — PUISSANCE.

Les vibrations élastiques sonores ou ultra-sonores dues à l'ébranlement initial d'une source vibrante se propagent parallèlement à la direction de cette vibration, dans le milieu ambiant ; il leur faut un support matériel, et elles ne se propagent pas dans le vide. Elles sont caractérisées par leur fréquence dont nous venons de parler et par leur puissance (fonction de l'amplitude). En outre, les caractéristiques du milieu ou des milieux traversés interviennent au premier chef dans la propagation de l'onde.

La fréquence N est liée à la longueur d'onde et à la vitesse de propagation par la formule très générale

$$\frac{V}{N} = \lambda \quad (1)$$

La vitesse de propagation V dépend du milieu selon la formule

$$V = \sqrt{\frac{1}{\beta \rho}} \quad (2)$$

ou β = coefficient de compressibilité

et ρ = masse spécifique du milieu

le calcul donne pour V .

dans l'air 331 m. sec.

dans l'eau 1.435 m. sec.

dans l'acier 5.100 m. sec.

dans le quartz 5.500 m. sec.

Ce qui, reporté dans la formule (1) donne pour λ

à $N = 1.000 \text{ Kc.}$

λ dans eau 1,5 mm.

λ dans acier 4,5 mm.

une telle onde ne se propage pratiquement pas dans l'air.

La puissance vibratoire émise (ω) est en rapport avec

l'amplitude A° de la vibration

la vitesse de cette vibration $\omega (= 2\pi N)$

et certaines constantes dépendantes du milieu.

$$(3) \quad W = \frac{K \cdot A^2 \omega^2}{2}$$

K dépend de ρ° masse spécifique

V° vitesse de propagation.

pour 1 surface S .

W moyenne $= S V^\circ \omega^2 A^2$.

D'autre part, la pression maximum développée pour 1 vibration ultra-sonore de fréquence N , d'amplitude A et de vitesse V° dans le milieu considéré est

$$p = \frac{N A}{\beta V^\circ} = \frac{\omega A}{\beta V^\circ}$$

or $p = \omega A \rho^\circ V^\circ$

Mais on peut tirer A de la formule (3), ce qui donne :

$$P^2 = 2 \frac{P}{S} \rho^\circ V^\circ \quad (4)$$

B. — PROPAGATION — AMORTISSEMENT — RÉFLEXION.

Les ondes ultra-sonores émanant de la surface vibrante se propagent sous forme d'un faisceau cylindrique, très peu divergent. En s'éloignant, l'amplitude va en diminuant suivant la formule :

$$\Lambda x = A^\circ e^{-Kx}$$

ou x représente la distance

et K le coefficient d'absorption.

Ce coefficient d'absorption dépend de nombreux facteurs et notamment de *la viscosité*, dont l'augmentation augmente l'absorption, de *la fréquence*, avec laquelle augmente l'absorption, et pour les gaz de *la conductibilité* et de *la capacité calorifique* du milieu.

Plusieurs formules plus ou moins approchées essayent de combiner ces divers éléments, pratiquement, aux fréquences élevées, la propagation des U.S. dans l'air est nulle, et assez faible dans les liquides.

A la surface de séparation de deux milieux, une partie de l'énergie est transmise dans le 2^e milieu, une autre partie est réfléchiée à l'interface et y fournit une pression de radiations plus ou moins importante ; enfin, des particules en suspension dans un champ vibrant subissent des agitations périodiques, et si ces particules sont électrisées, elles peuvent être à l'origine d'une différence de potentiel alternative. En présence d'une surface de réflexion totale, ou par combinaison de 2 vibrations de marche différente, on peut voir naître tous les phénomènes d'ondes stationnaires et d'interférences qui caractérisent les rayonnements ondulatoires.

C. — PHÉNOMÈNES PHYSIQUES INDUITS PAR LES U.S.

Parmi les phénomènes physiques qui prennent naissance dans un milieu vibrant, il est intéressant de noter surtout : les phénomènes optiques, les effets thermiques et la cavitation.

Les phénomènes optiques étudiés par Lucas et Biquard concernent la diffraction de la lumière par le système de réseaux que constituent les alternatives de pression et de dilatation ; pour des fréquences suffisantes (1.000.000), on obtient des images utilisables.

Les effets thermiques sont aussi très importants. Pratiquement, dans un milieu liquide approprié, toute l'énergie vibratoire se transforme finalement en chaleur ; et la mesure de la chaleur gagnée permet de déduire l'énergie vibrante introduite.

Nous verrons plus loin que la plupart des effets provoqués sur l'homme par les U.S. peuvent se rapporter à l'élévation de température induite.

Il est très intéressant de noter ici, comme l'ont fait remarquer M. Dognon et Biancani, que les coefficients d'échauffement sont très variables, selon les espèces chimiques et en particulier, les lipides et les cires ont un coefficient très élevé, grâce à une absorption intense.

Enfin la cavitation présente une importance primordiale,

surtout pour les expériences in vitro. Ce phénomène, constitué par le départ des gaz en solution dans l'eau, sous forme de petites bulles qui viennent crever à la surface, est supprimé par application d'une légère pression, ou dépression ; ou par dégazage du liquide. Elle est capable de développer au sein du liquide par les pressions, et les ondes de choc des bulles, des puissances mécaniques considérables.

III. — Production des ultra-sons

La production des U.S. est un problème étudié depuis longtemps, du fait des utilisations industrielles de ces derniers, soit pour le sondage des mers, et la détection sous-marine ; soit pour le sondage des solides : notamment des pièces de fonderies.

Nous ne citerons que pour mémoire les sirènes ultra-sonores, et les sifflets ultra-sonores, capables d'émettre à des fréquences variables (selon la vitesse de rotation) ils n'émettent guère que dans les gaz, et à fréquences assez basses. Ils ne semblent pas susceptibles actuellement d'applications médicales.

Les appareils à Magneto Striction, où la variation alternative d'un champ magnétique entraîne la vibration d'une pièce métallique en résonance, ne semblent pas encore susceptibles d'atteindre les fréquences actuellement intéressantes en thérapeutique, mais peuvent servir à des fins de diagnostic. C'est surtout au quartz piezo électrique que s'adressent les constructeurs d'appareils pour application thérapeutique d'U.S.

En 1880, les frères Curie découvraient l'effet piezo électrique, c'est-à-dire la faculté qu'a un cristal de quartz convenablement taillé de répondre par un changement de volume à une différence de potentiel, et réciproquement d'engendrer une ddp. sous l'effet d'une pression, ces deux phénomènes se produisant avec une inertie minime.

Le quartz est calculé de façon à entrer en résonance avec le champ électrique, et ainsi, à chaque cristal correspond une fréquence d'utilisation. Plus le cristal est mince, plus la fréquence est élevée, et on a pu atteindre ainsi jusqu'à 15.000 Kcy.

En pratique, on utilise des appareils donnant des fréquences

de 800 ou 1.000 Kcy avec des intensités de 1 à 6 watts par cm^2 . Etant donné la tension électrique élevée à appliquer au quartz, l'isolement du cristal doit être particulièrement soigneux. Pour les applications thérapeutiques, les quartz sont recouverts généralement d'une plaque métallique.

Au point de vue clinique, le dosage de l'énergie irradiée est un point capital sur lequel insiste Pohlman, en effet, ici comme dans toute espèce d'énergie radiante, une dose exagérée peut provoquer des dégâts. Les essais effectués sur des petits animaux (chiens, cobayes) peuvent difficilement se transposer à l'homme, car outre le fait qu'on ne sait quel facteur d'équivalence choisir, on applique généralement aux animaux des intensités proportionnellement plus élevées qu'aux hommes. Les déductions théoriques sont tout aussi difficiles, car on ne possède pas une représentation uniforme du mécanisme d'action biologique et d'absorption des vibrations.

Si le facteur peau joue un rôle primordial, il est difficile de comparer la peau animale à la peau humaine, si les points d'applications sont plus profonds, les facteurs de comparaison changent encore.

Au total, il semble que l'on doive retenir comme facteur :

1. La puissance appliqués en watt-cm^2 .
2. La durée d'irradiation (et nombre de traitements).
3. Le diamètre du faisceau (soit du quartz nu, soit du quartz garni d'une feuille métallique).
4. La fréquence.
5. La distance de l'émetteur (si on opère dans un bain liquide).
6. La manière d'appliquer l'émetteur : fixe, ou avec massage rapide ou ralenti, sur une zone plus ou moins importante et avec des surfaces de contacts différentes (cônes, concentrant plus ou moins le rayonnement, coussins d'eau, etc...).
7. La nature de l'émission : à débit continu ou rythmique ; avec impulsions rythmiques jointives ou espacées.
8. La présence possible d'ondes stationnaires qui provoquent une grande augmentation d'énergie, difficile à mesurer.
9. Les conditions de température, et de refroidissement.
10. Dans le cas de contact direct, la nature de la substance de contact.

Il existe des appareils qui mesurent l'énergie totale de l'émetteur. En divisant ce chiffre par la surface, on obtient l'énergie en watts/cm^2 , mais cette valeur moyenne n'est que théorique et il a été prouvé qu'au centre du faisceau, on pouvait avoir une différence de 200 % en plus. Cet inconvénient s'atténue lorsqu'on déplace l'émetteur, mais il est à

considérer lorsque l'émetteur reste fixe, comme c'est le cas dans les essais biologiques. Alors, par suite de la faible longueur d'onde (2 mm.), le champ se trouve occupé par de nombreux maxima et minima d'interférence présentant des différences de puissances très importantes, qui peuvent expliquer les divergences de résultats parfois constatées. Dans les émetteurs modernes, cet inconvénient est atténué jusqu'à 20 % par l'interposition de la plaque métallique.

L'examen quantitatif des champs peut se faire par de fines aiguilles thermo-électriques sensibilisées, mais dans la pratique, Pohlman recommande, pour examiner l'émetteur, la méthode suivante :

On le recouvre d'une goutte d'eau au centre, on règle l'intensité pour que la goutte vibre faiblement en inclinant la tête de l'émetteur, on dirige la goutte vers la périphérie. Le point où la goutte ne vibre plus représente l'extrémité du rayon efficace. L'appareil optimum sera celui qui, pour une dimension moyenne, fournira un faisceau aussi homogène que possible.

CHAPITRE II

EFFETS PHYSICO-CHIMIQUES DES ULTRA-SONS

Nous avons déjà vu les effets purement physiques : optiques, thermiques, cavitation ; voyons comment se comportent, au point de vue chimique, les solutions soumises aux U.S.

EFFETS CHIMIQUES DES ULTRA-SONS

Ils sont étudiés depuis longtemps déjà :

- déflagrations de substances explosives ;
- noircissement des émulsions photographiques (Trillat et Marinesco) ;
- dédoublément du saccharose (Szaberg) ;
- oxydation des iodures (Schmitt Johnson) ;
- vieillessement des liqueurs (par élévation des esters) (Specht) ;
- dépolymérisation des Albumines, etc...

Etudiant de plus près les phénomènes d'oxydation, Grabar et Prudhomme ont examiné la luminescence, qui semblait liée à la cavitation. Les oxydations ne semblent pas dépendre de la présence d'oxygène en solution, elles existent quand on remplace l'oxygène par de l'azote ou de l'argon, mais elles disparaissent quand on supprime la luminescence, même si on maintient la cavitation. La présence d'eau est indispensable. Ces auteurs pensent donc que l'oxydation serait due au radical OH libre qui pourrait être formé photochimiquement sous l'effet de la luminescence. Effectivement, on a pu montrer la présence d'hydrogène libre dans le milieu. Pour les actions chimiques en général, on peut invoquer les mouvements violents des particules en suspension, et les ondes de choc des bulles de cavitations.

Sur les grosses molécules, on assiste à des dépolymérisations et à des clivages : les solutions d'acide hyaluronique voient leur viscosité diminuée.

Certaines diastases, par exemple la hyaluronidase, sont inactivées, avec une intensité de 2 watts/cm² et en présence de cavitation (Santa Maria, Castellani).

Quant à l'action sur les suspensions et sur les systèmes colloïdaux, elle est variable : pour des particules au-dessus de 0 mm. 1, on obtiendrait une coalescence, avec séparation des phases ; au-dessous, on a au contraire un phénomène de dispersion. Mais ceci peut varier avec la fréquence (Lemière). Il semble aussi que de très petites particules (1 μ) ne soient soumises qu'aux forces du phénomène de cavitation, alors que de plus importantes (protozoaires, bactéries, etc.) semblent subir en outre les effets du frottement dus aux mouvements relatifs entre les particules en suspension et le milieu.

Un facteur important dans ces essais in vitro est la concentration : alors que pour des concentrations faibles on obtient facilement l'éclatement des cellules en suspension (paramécies, hématies, levures) pour une forte concentration, on n'obtient plus ce résultat, et la cavitation n'apparaît pas. Ces faits ont été confirmés récemment encore par Schœnaers.

Expérimentant sur des suspensions de globules rouges avec des fréquences de 960.000 cycles et une puissance de 14 à 20 watts, pour des concentrations de 500.000/mm³, il obtient une hémolyse qui s'accélère depuis le début jusqu'aux environs de 100 %.

Au-dessus de 500.000, la vitesse de destruction diminue, pour 1.000.000, on n'obtient qu'une lyse très faible qui rapidement s'arrête. Pour tous ces phénomènes enfin, il est quasi impossible de saisir une phase de transition. L'éclatement se fait brusquement.

CHAPITRE III

EFFETS BIOLOGIQUES DES ULTRA-SONS

Si l'on part de la cellule, pour s'élever progressivement jusqu'à l'homme, en passant par les animaux et les systèmes organiques, on se trouve devant une masse de faits assez disparates qu'il n'est pas toujours facile de relier entre eux. Ceci s'explique en partie si l'on considère les conditions diverses des expériences et surtout, les différences énormes d'énergies appliquées.

Sur les cellules

Vood et Loomis, ainsi que M. Dognon et Biancani, ont décrit depuis longtemps les mouvements tourbillonnaires des cellules en suspension (ou, dans certaines conditions, leur répartition selon les systèmes d'ondes stationnaires).

Ces mouvements se retrouvent à l'intérieur du protoplasme, mais malgré cette agitation intense, des œufs fécondés de *Fundulus*, ou d'oursins, ne sont pas altérés, il n'y a eu qu'exagération passagère des phénomènes métaboliques habituels. A des puissances plus fortes, on obtient la destruction cellulaire, sans avoir pu saisir de phase transitoire.

Les organismes pluricellulaires

Ils réagissent en général de façon fort variable. Certains insectes à revêtements chitineux épais sont absolument réfractaires. De petits anthropodes (*Daphnie Cyclops*), des vers, des batraciens (têtard grenouille), des poissons enfin, plongés dans un liquide vibrant, répondent d'abord par une violente exci-

tation pouvant aller jusqu'à la tétanisation, puis apparaît l'inhibition progressive et la mort.

Chez les poissons, on note une phase de perte de l'équilibre, qui semble due à des troubles nerveux, et qui est réversible ; de plus, on note sur la peau des foyers hémorragiques et des dilacérations. En appliquant le vibreur directement sur la peau de l'abdomen d'une grenouille, ou d'un lapin préalablement rasé, on obtient facilement la mort de l'animal, la peau présente la marque du projecteur. Elle est congestionnée, le péritoine est gorgé de sang, le gros intestin est dilaté au maximum et congestionné. Si on opère sur un animal déjà tué, on constate de nombreuses ruptures vasculaires. Ici, les effets d'interface, entre les gaz intestinaux et les tissus, semblent avoir une action capitale. Il y a naturellement aussi un effet thermique très important, mais on ne note pas d'aspect macroscopique de brûlures.

Il est très intéressant de connaître la propagation des ultrasons à travers les différents tissus. Cette étude a été faite par Pohlman, Combatti et par plusieurs autres auteurs, on en déduit un coefficient d'absorption pour un centimètre qui peut varier de 0,1 à 1,6. Ce coefficient dont on a déjà parlé caractérise chaque tissu. C'est une fonction linéaire de la fréquence (il augmente avec elle) et il varie aussi sensiblement, selon l'incidence sous laquelle le faisceau atteint le tissu examiné ; par exemple, il est plus élevé pour un muscle traité transversalement que pour un muscle traité suivant sa longueur.

En résumé, il apparaît que la propagation est très bonne dans les os, bonne dans les tissus musculaires et tendineux, dans le foie et les viscères compacts ; moins bonne dans les graisses, et par conséquent il faut s'attendre à une forte absorption par les tissus nerveux. Dans les poumons et l'intestin, la propagation est très mauvaise du fait de présence de gaz, et l'on peut s'attendre à voir des phénomènes de réflexion et de renforcement aux limites des organes.

Un os irradié *in vitro* s'échauffe comparativement beaucoup moins que sa moelle. Une irradiation prolongée peut amener des lésions au niveau de la moelle, avec hémorragie et décollement, puis ensuite, au périoste, le long des insertions tendineuses.

CHAPITRE IV

APPLICATIONS A L'HOMME

Généralités

Lorsqu'on essaye de transposer à l'homme les effets observés sur les animaux, il faut naturellement considérer que les moyens actuels ne permettent pas d'obtenir des puissances proportionnellement aussi grandes sur l'homme que sur les petits animaux, ni sur des surfaces équivalentes au point de vue qualitatif et quantitatif. Néanmoins, les appareils actuels permettent d'obtenir des effets locaux considérables qui pourraient facilement produire des troubles graves s'ils n'étaient prudemment dosés. Dans un tout autre domaine, les applications mécaniques modernes mettent chaque jour en contact un nombre plus grand d'individus, avec des fréquences vibratoires de plus en plus élevées. C'est ainsi que les machines pneumatiques, les avions à piston, et encore plus à réaction, les sifflets, les tuyères peuvent, à la longue, agir sur leur entourage animal non seulement par leurs fréquences audibles ou par les fréquences susceptibles de se propager par voie aérienne, mais aussi par les ultra-sons susceptibles de se propager dans un conducteur solide. Cependant, les recherches sur ce sujet montrent que les fréquences en jeu sont différentes des fréquences utilisées en thérapeutique et leur étude doit être envisagée à part.

En 1937, M. Dognon et Biancani concluaient d'une étude d'ensemble sur les U.S., qu'on pouvait prévoir des applications médicales intéressantes. Cependant, cette opinion était contredite par Gohr et Wedekinde en 1940. Pourtant, en 1939, Pohlman et ses collaborateurs avaient décrit les premiers effets favorables dans des cas de sciatiques et de névralgies.

Scholtz, en 1942, présentait ses premiers succès chez des

asthmatiques et des emphysemateux, et préférait dans certains cas les U.S. à la diathermie.

Denier, en 1946, présentait 65 cas, comprenant surtout des résultats intéressants dans les douleurs névralgiques, les cellulites et les ankyloses fibreuses, il indiquait aussi l'action sur les zones réflexogènes.

Ensuite, de nombreux travaux en Allemagne et en France, accompagnèrent le développement des techniques ultrasoniques, et les communications de ces premiers expérimentateurs.

En 1949, au Congrès d'Erlangen, étaient mentionnés 9.065 cas de maladies traitées par les U.S.

Rosenthal de son côté aux Etats-Unis, donnait une statistique provisoire portant sur 143 cas.

Parmi ces nombreux essais, beaucoup ne représentent encore que des expérimentations, qui ne passeront peut-être jamais dans le domaine pratique, mais d'autres par contre semblent assez encourageants et de toutes façons tous posent des problèmes intéressants.

Nous en examinerons quelques-uns de plus près.

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES PRINCIPALES OBSERVATIONS PRÉSENTÉES
A ERLANGEN EN 1949

Pourcentage	N	++	+	O	—	x
Abcès	237	54,4	24,1	5,5	—	16,0
Acouphèmes	112	23,3	27,6	22,3	26,8	—
Arthrites	456	38,4	29,1	14,4	2,8	15,3
Arthroses	912	34,0	40,6	17,4	0,8	7,2
Asthme	607	29,0	34,4	33,1	0,7	2,8
Cancers de la peau	204	20,8	30,8	43,0	2,5	2,9
Douleurs intercostales	128	58,6	22,7	17,1	—	1,6
Eczéma	86	25,6	13,9	51,2	—	9,3
Enurésie	321	45,8	3,1	50,8	—	0,3
Fistules non spécifiques	83	45,3	14,5	38,6	—	1,2
Lumbago	213	67,7	18,2	4,7	—	9,4
Maladie de Bechterew	536	4,0	77,5	14,1	0,2	4,2
Mastite	203	52,7	15,8	1,9	—	29,6
Myalgie	99	39,5	49,5	5,0	1,0	5,0
Névralgies	852	60,2	21,5	10,1	0,6	6,6
Névralgie du trijumeau	128	18,0	32,8	40,7	3,9	4,6
Ostosclérose	151	—	51,0	48,4	0,6	—
Périarthrite scapulo-numérale	177	35,5	43,0	15,2	1,1	5,2
Porteurs de germes diphtériques.	80	67,4	—	16,3	—	16,3
Prostatites	267	31,9	34,7	15,8	0,4	17,2
Rhumatisme	—	—	—	—	—	—
Sciatique	1508	12,0	22,6	10,3	0,5	4,6
Sclérodermie	65	9,2	69,3	20,0	—	1,5
Sclérose en plaque	106	2,8	42,5	49,1	2,8	2,8
Spondylose	273	36,6	49,5	9,1	2,2	2,6
Trismus	52	73,1	17,3	7,7	1,9	—
Tuberculose pulmonaire	60	—	81,8	—	18,2	—
Tumeur maligne	133	1,5	15,8	57,2	6,7	18,8
Ulcère de jambe	898	47,0	25,1	25,2	0,6	2,1
Ulcère radiothérapique	—	—	—	—	—	—
Ulcère de l'estomac	256	55,8	19,2	16,0	0,4	8,6
Ulcère du duodénum	—	—	—	—	—	—
Verrues	73	49,4	—	35,6	2,7	12,3

N = Nombre de cas.	
++ = Guérisons ou améliorations importantes	%
+ = Améliorations	%
O = Effet nul	%
— = Effet défavorable	%
x = Effet douteux	%

Les appareils actuels, dont nous avons déjà parlé, émettent à une fréquence voisine de 1.000 Kcy. (800 à 1.000). La puissance totale est réglable de 0 à 30 watts, pour une surface de 6 à 8 cm², en général, le quartz est recouvert d'une plaque de métal, et la tête est disposée pour éviter un échauffement excessif des téguments, qui pourrait aller jusqu'à la brûlure.

Il existe plusieurs dispositifs susceptibles de s'adapter à des conditions d'application différentes :

Dispositifs convergents qui permettent de concentrer la puissance à un foyer ;

Rallonges coniques ; tronc conique ; tubulaires droites, ou courbes qui permettent de diminuer la section du faisceau ;

Cuves pour traitements en milieux liquides ;

Matelas liquides.

Dans les cas d'applications directes, il faut enduire la tête d'une substance de contact : vaseline fluide, huile, eau, ou mieux, la solution suivante :

{ glycérine : 3/4 ;
 eau : 1/4 ;

qui par ses qualités de pénétration, assure un contact étroit. En cas de mauvais contact, le patient perçoit une sensation de chaleur et de picotements qui peut devenir douloureuse. L'intensité à appliquer est très variable selon la région traitée. Sur un membre, on peut appliquer une forte intensité s'il n'y a pas d'os avant une profondeur de 6 cm. Sinon, il faudrait craindre des douleurs et des élévations de température trop importantes. Avec 3 à 4 watts et 800 Kcy. on a une pénétration de 50 % de l'énergie incidente à 8 cm. de profondeur.

Enfin, nous verrons par ailleurs que le flux ultra-sonore peut être constant, ou variable, selon diverses formes.

Certains praticiens laissent l'émetteur à un endroit fixe de la peau, ce qui a l'avantage d'un dosage exact. D'autres déplacent l'émetteur à un rythme plus ou moins rapide sur une surface plus ou moins grande. Ceci permet de diminuer les effets de chaleur, tout en irradiant une zone plus importante, mais c'est au détriment de la précision du dosage.

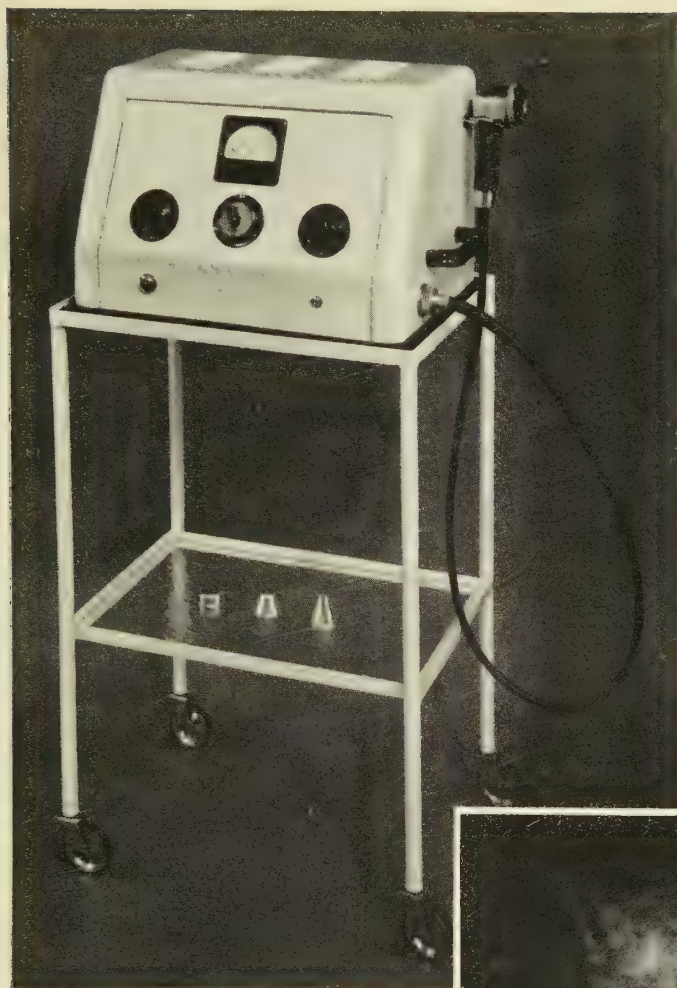
Born a construit un appareil qui émet par intermittence avec une période variable jusqu'à 100 par secondes ; on obtient donc des intermittences régulièrement dosées.

Il pense que l'on peut ainsi, atténuer les effets thermiques, tout en maintenant les composantes mécaniques au cours d'un traitement prolongé ; de plus, les douleurs au périoste seraient moins grandes.

En fait, cette opinion a été sérieusement controversée au Congrès de Rome en 1950. Barth et Wachsmann ont montré que l'effet biologique ainsi obtenu était diminué.

Waeber pense que ce dispositif demeurerait intéressant aussi

Photographie de l'appareil



Effet de cavitation

longtemps que l'on ne disposerait pas d'appareils permettant de diminuer graduellement l'intensité jusqu'à 0, car il permet d'appliquer de très faibles intensités. En fait, il semble bien que l'on puisse conclure avec Pohlman que cette modification ne représente qu'un affaiblissement du traitement qui ne permet même pas de doser plus exactement les faibles intensités, et qui jusqu'à preuve du contraire, ne peut intéresser que la recherche.

L'appareil que nous avons pu utiliser grâce à la complaisance de notre parent et ami le Docteur Grinfeder, à qui nous nous faisons un devoir d'exprimer notre très vive reconnaissance, émettait à une fréquence de 1.000 Kc. avec une puissance maximum de 30 watts réglable à partir du 0, la surface active d'émission était de 8 cm² avec un refroidissement obtenu grâce à l'épaisseur de la plaque métallique de transmission de 6 mm., une poignée de caoutchouc protégeait le manipulateur contre la transmission des vibrations à l'opérateur, des cônes réducteurs adaptables permettaient de diminuer la surface active d'irradiation. Une minuterie arrêtaît automatiquement le débit après le temps voulu.

Nous opérons nos applications sans déplacer l'appareil.

A première vue, une application de quelques minutes sur la peau provoque une augmentation de température locale pouvant atteindre 5° avec turgescence des veines superficielles, hyperhémie et analgésie des terminaisons nerveuses. Pour des intensités plus élevées, on a une sensation de striction, et de picotements.

Théoriquement on peut distinguer 3 points d'attaques, mais il faut reconnaître qu'ils sont probablement intriqués :

- 1° Action sur les tissus nerveux ;
- 2° Action vasomotrice et réflexe ;
- 3° Action sur les tissus fibreux et cartilagineux.

Nous y reviendrons dans l'étude du mode d'action, mais auparavant, envisageons quelques-uns des résultats obtenus.

Action dans les algies nerveuses et rhumatismales

Dès 1924, Schliephake avait déjà traité avec succès des articulations malades par application sous l'eau.

Les premiers résultats de Pohlman en 1939 portaient sur

des douleurs nerveuses sciatiques et névralgies et il semble bien se confirmer que c'est l'élément nerveux qui est le plus constamment influencé. Cela n'a rien pour nous étonner, d'ailleurs, étant donné les fortes capacités absorbantes des tissus nerveux pour les U.S.

Les algies des lumbago, sciatiques, zona, névralgies faciales, douleurs intercostales, solairites, algies cervicobrachiales, algies des entorses, et névralgies de toutes sortes, sont parmi les affections qui répondent le mieux aux U.S.

Denier un des premiers en France a publié ses succès dans les névralgies du grand nerf occipital d'Arnold, par application aux zones d'émergence des deux côtés ; dans les névralgies faciales et cervicobrachiales par application sur les racines cervicales et le point douloureux. Dans les sciatiques, il ne conseille l'application qu'après l'échec de la radiothérapie. Lehman par contre, déduit de ses statistiques la supériorité des U.S. sur toutes les autres méthodes, dans le traitement des sciatiques.

Dans le rhumatisme, M. Desgrez et Malinvaux ont publié en 1949, une trentaine de cas. Ils procèdent par applications locales rachidienne ou juxta-rachidienne jusqu'à atteindre l'effet érythémateux ou vésicant. Si aucune amélioration n'apparaît à la 2^e ou 3^e séance, il est inutile de continuer.

Dans 11 cas de rhumatismes vertébraux :

4 rhumatismes lombaires avec lésions objectives du rachis,

5 rhumatismes lombaires à sciatique avec signe de Lasègue,

2 rhumatismes cervicaux avec algie cervicobrachiale,

ils obtiennent une amélioration nette dès la 3^e séance.

— Dans 6 cas, disparition totale des troubles se maintenant au delà de 2 mois.

— Dans 3 cas, améliorations sensibles.

— Dans 2 cas, échecs à savoir :

1 cas où existait 1 arthrite lombo-sacrée,

1 cas où existait 1 rhumatisme en évolution.

D'autre part, 5 cas de rhumatismes déformants de doigts avec troubles trophiques et vasomoteurs, ont été améliorés au point de vue douleur, mais sans modification des troubles

Mais dans 4 cas d'arthrite :

— 2 acromio claviculaire,

— 1 médiotarsienne,

— 1 arthrite de la hanche,

ils n'obtiennent que des résultats nuls ou discutables.

Et dans 2 sciatiques aiguës sans signes radiologiques, 2 échecs.

Ils concluent à l'action favorable des U.S. dans les rhumatismes non évolutifs, discutable dans les névralgies aiguës, nulle dans les rhumatismes évolutifs.

Des nombreux travaux de Denier se dégage une impression un peu différente, il souligne l'action sur la douleur et la raideur, mais observe des effets sur les arthrites. Il est vrai qu'il associe fréquemment d'autres traitements physiothérapiques. Il signale des améliorations de crise de goutte, de Kummel Verneuil, de périarthrite scapulo-humérale et même d'ankyloses fibreuses anciennes.

Les résultats apportés au Congrès d'Erlangen en 1949 sont également assez divergents.

Pour les arthrites, par exemple :

Barth sur 49 cas obtient :

7 guérisons ou améliorations importantes,
16 améliorations,
18 résultats douteux,
8 nuls.

Demmel sur 112 cas obtient :

62 guérisons ou améliorations importantes,
24 améliorations,
26 douteux.

Pour les arthroses :

Barth sur 48 cas obtient :

0 guérison,
16 améliorations,
17 douteux,
15 nuls.

Denier sur 61 cas obtient :

40 guérisons,
13 améliorations,
0 douteux,
8 nuls.

Il est évident qu'en plus des défauts inhérents à toutes statistiques, il faut tenir compte du choix des sujets, et des modalités d'application du traitement.

Signalons enfin que M. Costes a rapporté en 1950, 9 cas d'épicondylites et un cas d'épithrochléite guéris. Les entorses, également, seraient justiciables du traitement ultra-sonique.

Pour nous, nous avons pu observer en collaboration avec le Docteur Grinfeder une névralgie cervicobrachiale, quelques sciatiques et 2 coxarthroses.

Voici nos observations :

OBSERVATION 1 :

Névralgie cervicobrachiale.

Mlle B..., vue le 2 mai 1951 depuis un mois, douleurs à l'épaule droite précédée deux mois auparavant par une sensation de raideur de la nuque, avec craquements du côté gauche et céphalées. Douleurs nocturnes de l'épaule droite, et dans la journée fourmillements au niveau des 3 derniers doigts. Difficulté de mettre la main derrière la nuque et de se coiffer. Radiographie normale. La guérison fut obtenue en 4 séances.

OBSERVATION 2 :

Sciatique. Mlle B..., vue le 7 février 1951.

Sciatique gauche typique à irradiation L5, signe de Lassègue, douleurs très vives depuis 2 mois. Echec du traitement par infiltration. Durée très brève d'atténuation des douleurs par l'Aspirine.

Amélioration, puis disparition des douleurs en 3 séances ; persistance pendant 15 jours de fourmillements et picotements dans le territoire L5 de la jambe.

OBSERVATION 3 :

Coxarthrose. Mme M..., 44 ans. Début en octobre 1941 par gêne et douleur de la hanche droite à la marche, signe du soulier, en novembre 1944 extension de la jambe difficile. Juillet 1945, Barèges ; 1946-47-48, Bourbonne l'Archambault, légère amélioration.

En 1951 blocage de la rotation externe et de l'abduction, douleur contro-latérale. Radio: tête fémorale écrasée en tampon de wagon.

U.S. seul pendant 15 jours. Aucun résultat.

Association U.S. plus courants galvaniques et infiltration.

Amélioration très nette, reprise de la marche, montée des escaliers.

OBSERVATION 4 :

Coxarthrose droite.

Juin 1925 : accident de voiture, fracture de la tête fémorale. Depuis, douleurs à la marche. En 1941 : radiothérapie.

En 1949 : douleur continue, jour et nuit, puis amélioration. Marche pénible avec une canne, douleur au genou droit, limitation de tous les mouvements de la hanche droite, sauf la flexion.

Radiographie : atrophie de la tête fémorale, type géodique, interligne presque effacé, altérations du cotyle.

Amélioration par le traitement combiné à la 2^e séance. A la 4^e séance marche sans canne avec claudication, se lève facilement de sa chaise, disparition complète de la douleur de la hanche, persistance de la douleur au genou.

A repris son travail interrompu depuis 2 ans.

Ces résultats appellent quelques commentaires :

Pour les sciatiques, nous avons vu personnellement sur 32 cas :

- 8 à topographie S1,
- 20 à topographie L5,
- 4 indéterminées.

Dans les grandes crises aiguës (4 cas), il faut attendre quelques jours, obtenir la sédation des douleurs par la morphine, et appliquer un traitement U.S. très léger et très progressif.

Dans la sciatique banale (18 cas), on obtient l'atténuation douloureuse dès les premières séances ; la guérison en une ou deux semaines. Dans les sciatiques ayant déjà été traitées et vieilles de quelques mois, on obtient des résultats variables, mais supérieurs à ceux de la radiothérapie.

Sur 18 cas, nous notons 10 échecs dont 4 ont dû être opérés de hernie discale, et 5 guérisons.

Enfin, il semble que les sciatiques à topographie L5 soient plus sensibles que celles à topographies S1.

Pour les coxarthroses, alors que le traitement par les U.S. seuls est assez décevant, on a au contraire de bons résultats par association aux autres thérapeutiques : novocaïnisation des points douloureux, courants galvaniques faradiques rythmés. Il est certain qu'en appliquant l'émetteur sur le grand tronchanter, on doit obtenir des phénomènes de renforcement très importants des vibrations, au niveau de la tête fémorale. Il doit en être également de même dans la tête humérale.

En résumé, malgré des statistiques assez contradictoires, on obtient des améliorations très importantes de nombreux processus rhumatismaux par les U.S.

Action dans l'asthme

Schlotz en 1942 présentait ses premiers succès.

Ansett en France le suivait de peu. En 1949 cet auteur présentait : 200 cas d'asthme avec :

109 guérisons,
42 améliorations,
49 résultats nuls.

Par contre Demmel en 1949, également, sur 197 cas, n'obtient que :

91 améliorations,
et 106 échecs.

Ansett, dans un exposé paru en 1951 et portant sur plus de 200 cas d'asthme rebelle, ne note que :

30 % d'échecs,
avec 35 % de guérisons se maintenant depuis 2 et 3 ans,
et 35 % d'améliorations importantes.

Le traitement comporte chaque jour pendant 12 jours une application de 6 à 10 minutes, alternativement sur chaque ganglion stellaire, avec le maximum d'intensité supportable.

On note quelquefois des crampes, au cours de la séance, ou une vésiculation dans les jours suivants, l'amélioration de la respiration est sensible dès les premières séances, mais l'élément infectieux n'est pas modifié. Les malades ayant abusé d'éphédrine et d'adrénaline seraient plus résistants.

Les applications supplémentaires sur la colonne cervicale (technique allemande) et sur le lobe frontal (technique russe) n'amènerait pas d'après Ansett, de résultats plus favorables. L'association aux rayons X semble quelquefois intéressante (Denier).

Nous avons également observé des améliorations très intéressantes, en appliquant l'émetteur de chaque côté du sternum au niveau des 2^e et 3^e espaces intercostaux, jusqu'à sensation de striction, à partir de laquelle on abaisse progressi-

vement la puissance pour rester au seuil de la sensation douloureuse.

Applications en chirurgie

Elles sont encore très limitées, bien que les travaux sur cette question soient nombreux et intéressants, et que les techniques s'améliorent rapidement, par exemple : Bussi et Dova, utilisant une émission focalisée, sont parvenus à produire une nécrose isolée du lobe antérieur de l'hypophyse de chien, sous réaction sur l'entourage, ce qui peut donner une idée de la précision accessible.)

Pour en revenir à des considérations plus pratiques, disons tout de suite, que l'on écarte habituellement les maladies chirurgicales aiguës du traitement par les U.S.

Dans les suppurations : abcès, panaris, furoncle, anthrax, phlegmons des gaines, ostéomyélites même, l'application se fait au moyen d'un coussin liquide, ou par application sous l'eau. On obtient en général des résultats assez satisfaisants.

M. Desgrez et Malinvaux sur 38 cas d'affections inflammatoires aiguës cutanées et sous-cutanées, notent 29 guérisons, et 9 améliorations. Dans les ulcères des jambes, on obtient une amélioration fréquente avec modification du pH qui peut revenir de 8 à 6, et remplacement du tissu sanieux du fond, par des tissus roses. Mais on a signalé qu'ils pouvaient précéder, et certains associent des greffes, qui diminueraient le nombre de ces récidives.

Pour les cas de plaies des parties molles, ou des épithéliums, les U.S. accélèrent la guérison. Dans les plaies des articulations et les contusions, on voit la résorption des hématomes accélérée. De même pour la guérison des incisions, des fistules, des cicatrices.

Les spasmes en général, sont favorablement influencés, et on signale des succès dans les coliques vésiculaires, les cholécystites, les coliques néphrétiques.

Dans les artérites, l'ultra-sonothérapie semble également intéressante.

— Sur 8 cas d'artérites oblitérantes et de maladies de Buerger, M. Desgrez obtient 7 guérisons, par applications quotidiennes sur le membre et sur la zone sympathique corres-

pondante. Rosenthal rapporte d'excellents succès sur des cas d'hémorroïdes thrombosées.

Des cas d'ulcère d'estomac et du duodénum ont été traités par Ebert, cet auteur a pensé que l'effet thermique profond des U.S. et l'action sur les zones réflexogènes permettaient d'attendre un résultat supérieur à celui des moyens de réchauffement habituels. Si l'on tient compte des phénomènes d'interface qui peuvent se produire au contact du contenu gastrique, on peut s'attendre à des effets importants.

Parallèlement à la thérapeutique usuelle, dans les cas où elle agit mal, il applique 35 à 47 watts sous 800 Key. pendant 10 minutes (?) tous les 2 jours (').

Les malades indiquent une augmentation de chaleur, quelquefois des douleurs supportables (surtout en cas d'estomacs remplis), il n'a jamais observé de troubles sérieux (Henkel par contre a observé un collapsus chez un cardiaque).

En général, il obtient des améliorations très importantes fonctionnelles et radiologiques.

La question des tumeurs doit occuper une place à part, le Congrès de Rome en 1950 a proposé à juste titre d'écarter actuellement les tumeurs du champ de la thérapeutique par les U.S. Ceci étant posé, il est intéressant d'examiner l'état actuel de l'expérimentation, et l'action des U.S. sur les tissus jeunes et les tissus carcinomateux. Les premiers résultats furent divergents, certaines tumeurs étaient améliorées ou guéries, d'autres étaient aggravées ou même essaimées (Barth, Hovatz).

Hovatz sur 74 cancers de la peau chez l'homme, donne 24 guérisons complètes et 34 améliorations. Mais Fuchs et Buchtala ont observé sur 75 cas en associant les U.S. aux Rayons X, ou en les employant isolés, soit aucun effet, soit une accélération de croissance.

Les recherches expérimentales portant sur des os de jeunes chiens ou sur des ovaires de souris, ont montré qu'une irradiation avec une intensité réduite ne provoquait aucun trouble sur un tissu en croissance.

(1) Ces doses nous paraissent très élevées, et dans notre expérimentation personnelle, aucun malade n'a pu supporter même 25 watts pendant 5 minutes.

Il en était de même pour des œufs de grenouilles fécondés (Bydl-Wœber), bien mieux, les têtards issus de tels œufs étaient plus grands que ceux issus d'œufs témoins non irradiés, cette différence se compensant d'ailleurs dans la suite du développement. Pour expliquer ces phénomènes les auteurs ont invoqué des modifications des potentiels électriques de concentration qui règlent les métabolismes des différents tissus. Par un effet biopositif, on aurait une augmentation temporaire de l'activité des ferments agissant sur le métabolisme de l'albumine et des acides nucléiques. Le nombre des noyaux en métaphase diminue au détriment des noyaux en une augmentation de la concentration en albumine, autour télophase et en interphase ; ce qui permettrait de conclure à une augmentation de la concentration en albumine autour du noyau (Caspersson).

Dans le cas d'intensités élevées, on aurait des effets à prédominance bionégative, avec freinage de la croissance, déformation des organes en croissance, et même partiellement mort immédiate des embryons, avec des différences de résistance, selon les différents stades de développement des embryons.

Les embryons les plus jeunes et les moins différenciés, paraissent les plus sensibles. En outre, les différents groupes de cellules ou d'organes, gardaient des sensibilités en rapport avec leurs filiations ontogéniques.

Lemière, expérimentant sur des plantules de pois, a déduit un rapport Puissance/Temps. Pour une puissance 2 fois moindre le temps d'exposition doit être augmenté 7 à 8 fois ; mais pour des larves de moustiques la puissance semble primordiale, et le temps secondaire.

Le degré de puissance qui donne des effets biopositifs ou bionégatifs dépend du stade de maturité. Il en ressort que seule une puissance élevée a des chances de détruire un tissu néoplasique, une intensité trop faible pouvant être suivie d'accroissement.

La sensibilité spécifique des tissus cancéreux étant encore obscure, il est fort délicat de choisir une puissance adéquate.

Weber et Zink ont fait quelques essais également sur des tumeurs greffées à des animaux, en combinant la radiothérapie et l'ultrasonothérapie, d'où il ressort, une certaine synergie des actions.

Cependant, Wödl a vu que des irradiations incapables de tuer toutes les cellules d'un épithélioma basocellulaire, pouvaient en même temps léser des éléments sains, et même un tel épithélioma aurait évolué sous l'action des U.S. vers un spinocellulaire : l'hypothèse d'une action sélective sur les cellules cancéreuses semble donc loin d'être prouvée ; et les conclusions prudentes du Congrès de Rome se justifient puisque la chirurgie et les Rayons X offrent des traitements plus sûrs actuellement.

Applications en pédiatrie

Ici encore, il y a lieu de montrer la plus grande circonspection du fait que l'on s'adresse à des tissus en croissance et sur des surfaces également plus importantes.

Adam au Congrès d'Erlengen, a apporté une expérience de 1.500 applications d'U.S. en 2 ans 1/2 à 260 cas.

Il utilise une fréquence de 800 Kcy., une puissance de 2,25 à 2,5 w/cm², l'apparition de la réaction douloureuse ayant lieu à 2,75 watts. La tête d'application doit être très petite : 6 cm. de diamètre.

Une seule fois, sur un nourrisson traité pour adénoïdite, il a vu un œdème de la gorge s'étendant jusqu'au larynx au point de nécessiter une trachéotomie, bien que la dose appliquée soit la même que dans des cas semblables traités sans accidents.

Il a traité ainsi des affections lymphatiques, des amygdalites, des infections banales, des porteurs de germes diphtériques, des scarlatines, des arthrites, des ostéomyélites, avec de bons résultats. Il indique aussi la guérison d'une tumeur mixte de la parotide et d'une tricophytie profonde.

Sur les amygdales, il applique de chaque côté 5 à 6 sonorisations de 5 minutes chaque, mais il indique des résultats moins sûrs qu'avec les Rayons X qu'il emploie depuis longtemps de préférence à la chirurgie.

Il rapporte enfin quelques essais effectués sur le cerveau dans des cas de démence précoce, ne laissant aucun espoir. Il applique 2,25 à 2,5 watts. Souvent, il n'a noté aucun effet, mais il a pu noter une légère amélioration 62 fois (sur 112)

qu'il attribue au fait que ces cerveaux sont encore en développement.

Il faut donc commencer par des doses très faibles afin de ne pas risquer d'atteindre la capacité réactive du bon tissu, qui représente l'unique facteur d'amélioration.

Applications en otologie

Dès le début des U.S., on a essayé de les utiliser en otologie avec des résultats fort variables, tantôt très bons, tantôt très décevants.

Il est vrai que les premiers expérimentateurs, ne semblaient pas tenir assez compte des conditions de propagation des vibrations dans l'air.

Il faut se souvenir aussi que l'oreille par sa configuration où voisinent des tissus très différents : os, peau, liquides, et de l'air, sera soumise au maximum aux phénomènes de renforcement de l'énergie aux interfaces. Naumann (avec il est vrai 28 watts, 1.000 Kc. pendant 15 à 20 minutes) a montré des altérations très importantes de l'oreille de cobaye.

Parmi les observations récentes :

Pauhlmann partant du principe que beaucoup de bruits d'oreille sont dus à des altérations nerveuses, traite 18 cas d'origines différentes avec une émission rythmique à 500 Kc. et des impulsions de 1/2 ou 1/3 watt en plusieurs séances de 7 minutes.

Il obtient :

- 2 patients (1 otosclérose, 1 lésion or. interne) guéris,
- 8 patients améliorés sensiblement,
- 8 non améliorés.

Wiethe travaillant sur des cas

- de vertige de Ménières,
- d'otosclérose post-traumatique ou post-méningitique,
- de dureté d'oreille,

note dans de nombreux cas une amélioration de la perception du chuchotement de 1 à 7 m. qu'il mesure audiométriquement.

Zambelli avec 960 Kc. de 1 watt à 1,5 pendant 3 minutes, note des succès dans de nombreux cas

d'acouphènes,
vertiges de Ménières,
otite chronique
et otosclérose.

D'autres contestent ces résultats en cas d'otosclérose et il est difficile de dégager une impression d'ensemble des 700 observations existantes.

Enfin, il est indispensable de soumettre le patient à une surveillance otologique minutieuse afin de surveiller l'apparition possible de réactions telles que le gonflement de la muqueuse du conduit auditif.

Applications aux yeux

On a encore très peu d'expérimentation dans ce domaine. A juste titre la cornée est considérée à cause de sa nature compacte, comme susceptible de répondre avec intensité aux vibrations U.-sonique.

Zeiss en 1938 sur des yeux de bœuf énucléés provoque un trouble du cristallin et de la cornée qu'il nomme cataracte d'U.S. Mais Badtke sur le lapin vivant peut appliquer plusieurs fois 3 watts/cm² jusqu'à 10 minutes sans obtenir de méfaits. Muller « in vitro » ne pouvait reproduire la cataracte de Zeiss, mais il produisait une cataracte nucléaire. Trois auteurs, Grün, Funder et Wyt, montrent sur les animaux morts une altération irréversible de la cornée avec liquéfaction, mais sur les animaux vivants, aucune altération de la cornée ni de la rétine décelable à l'ophtolmoscope.

Schwabb a repris l'expérimentation sur des yeux de lapin vivant avec des modes et des durées variables d'application et une intensité variant de 1/2 à 4 watts/cm², l'émetteur était relié à la cornée au moyen d'une membrane élastique en forme de coupole, et comme liquide de contact, il utilisait du soluté physiologique.

Il note que les fréquences élevées, donnent moins facilement des altérations du stroma de la cornée que les fréquences basses ; elles donnent par contre une réaction myotonique de la pupille.

Les basses fréquences donnent des troubles blanchâtres

dans la partie antérieure de la cornée montrant à la lampe à fente de petites déhiscences en forme de bulles ressemblant à des bulles de cavitation. Ces troubles se réparent en six semaines.

Sur l'homme, l'expérimentation est encore beaucoup plus minime.

Wyt et Dussik ont noté sur un œil amaurotique que malgré des applications répétées et un dosage élevé, ils n'obtenaient aucune altération des lentilles.

Badtke aurait traité deux troubles de la cornée avec des résultats favorables.

Ces résultats naturellement encore trop fragmentaires semblent indiquer que les réserves faites à cause des dangers d'opacification de la cornée ou d'hémorragies de la rétine, ne seraient pas de nature à interdire l'utilisation prudente des U.S. en ophtalmologie.

Mécanisme d'action

Par quels mécanismes agissent les ultra-sons dans l'intimité des cellules et des tissus humains. Quelle est la participation des phénomènes obtenus « in vitro », quelle est l'interdépendance des réactions obtenues « in vivo » : hyperhémie, œdème, modifications nerveuses ? c'est autant de questions que nous avons senti mûrir au cours de cette étude. Il semble bien acquit aujourd'hui que la cavitation, les effets chimiques ou mécaniques obtenus « in vitro », les modifications de perméabilité cellulaire, n'interviennent pas aux doses thérapeutiques chez l'homme, ou sont exceptionnelles ou sont contingentes.

Par contre Lehmann montre qu'il faut attribuer un rôle essentiel à l'élévation de température des tissus pour expliquer les réactions chez l'homme, depuis l'hyperhémie simple, jusqu'à la destruction tissulaire, en passant par l'œdème et l'altération fonctionnelle de l'excitabilité électrique des nerfs périphériques.

La spécificité de l'action thérapeutique pourrait alors être expliquée dans une large mesure par les particularités d'absorption thermique des divers tissus, ou organes.

Pour étayer cette opinion, il expose que dans un tissu

refroidi, l'action n'apparaît pas, même en quadruplant l'intensité ; il montre que l'on peut aussi, remplacer partiellement l'irradiation par la chaleur : avec une intensité plus réduite, mais une température initiale plus élevée, il obtient les mêmes résultats qu'avec une température initiale basse et une puissance d'irradiation plus élevée.

L'augmentation des courbes de respiration tissulaire est parallèle à l'augmentation obtenue par la chaleur.

De même, la perméabilité de la peau, examinée sur des rats, par passage d'histamine au travers du revêtement, confirme ces conclusions.

Par ailleurs, nous avons déjà vu que la comparaison des applications continues et des applications intermittentes, amène au même point de vue.

Enfin, l'étude mathématique de l'agitation des particules, et de l'amplitude de leur mouvement, montrerait une relation analogue.

Cependant, un doute persiste, sur la possibilité (à vrai dire réduite) d'intervention de phénomènes d'un autre ordre ; car dans l'expérimentation, la prise de température s'effectue au moyen d'aiguilles thermoélectriques, qui bien que fines, subissent l'influence du rayonnement, dans une mesure qu'il est difficile d'apprécier exactement dans les calculs.

D'autre part, certaines expériences sur la perméabilité de la peau de grenouille aux ions Cl^- montrent une perméabilité plus grande par U.S. que celle qui ne serait due qu'à l'échauffement correspondant.

Pohlman et Van Zeelden ont souligné, qu'une augmentation de la perméabilité de certaines membranes paraît possible.

Il est certain, qu'aux zones d'interface on a une concentration d'énergie absorbée.

Pour des doses plus fortes qui amènent la destruction cellulaire avec gonflement des cellules, bourgeonnement des noyaux, vacuolisation puis éclatement (tous effets qui peuvent s'obtenir par élévation de température), il semble plus difficile encore de déterminer la part des phénomènes physico-chimiques qui peuvent intervenir sans doute de façon plus importante.

Mais à l'échelle thérapeutique, on peut dire que les effets mécaniques ne jouent qu'un rôle très secondaire, et que l'on

devra se baser sur l'élévation thermique à obtenir, et régler ses appareils pour avoir un réchauffement utile dans les tissus malades compte tenu de la structure de ces derniers.

L'étude histologique des tissus irradiés, a été faite également par plusieurs auteurs, dans le but de préciser le mécanisme d'action, malheureusement l'histologie ne peut saisir que les altérations irréversibles des éléments tissulaires, les modifications cytologiques temporaires, du type de celles qui interviennent en clinique, échappent encore à la méthode. De plus, il arrive qu'on ne note peu ou pas d'altérations cellulaires immédiatement après une irradiation, qui amènera plus tard, une destruction complète du tissu, à moins que déjà une coagulation ressemblant à une coagulation thermique, ou à moins que la réaction de l'organisme, ait commencé pendant le traitement.

Dans ces cas on note d'abord un gonflement très important de la cellule, avec éclaircissement du protoplasme, et irrégularité dans la distribution de la chromatine, et le contour des noyaux. Viennent ensuite la pycnose, puis la décomposition et la dissolution, déjà décrites.

A côté on note une altération graduelle de l'irrigation sanguine avec vaisseaux dilatés et hypertendus, tissus œdémateux, hémorragies pétéchiâles, et en nappes, en partie immédiates, en partie plus tardives, comme conséquence de l'endommagement de la paroi.

Fanuchi, expérimentant avec un faisceau convergent sur des foies et des cerveaux de chien et de lapin, a observé divers degrés dans les foyers de nécrobiose, variant de la périphérie jusqu'au centre de la lésion, où la nécrose était complète ; avec quelques différences selon chaque organe. Il rapporte des images atypiques, telles que certaines formes de fragmentation nucléaire, certaines granulations basophiles étranges, à des lésions dues spécifiquement aux ultra-sons.

Il a noté dans le foie une atteinte différente pour les cellules parenchymateuses, et pour les éléments conjonctivo-vasculaires ; dans le cerveau, une atteinte plus importante des cellules nerveuses que des cellules de la névroglie ; partout, des troubles vasculaires, hémorragiques, et des processus thrombosiques commençants. Il semble que le résultat soit moins dû à un effet spécifique U.S. qu'à un phénomène de

dégénérescence ordinaire du tissu tel qu'on pourrait le provoquer, par exemple par la chaleur. Souvent on note une réaction fibroblastique particulièrement importante mais parfois au contraire, une régression de ces éléments, avec une augmentation importante de la croissance des éléments épithéliaux. Pour interpréter ce comportement, on suppose que les éléments réparateurs ont été plus ou moins inhibés, ou excités.

Günsel, sur des testicules de rat, obtient une atrophie simple ; mais on peut l'obtenir par la chaleur. Peters a noté des lésions du cerveau et de la moelle non spécifiques, et il pense à la participation possible d'un effet thyxotrope sur le tissu cérébral.

On penche donc plus ou moins vers des lésions de nature thermique, qu'on ne peut toutefois pas reproduire exactement par la chaleur, ce qui pourrait s'expliquer par les conditions différentes de conduction et d'absorption de l'énergie ; conditions variables d'ailleurs, avec les structures anatomiques différentes.

Il faut tenir compte aussi des effets de réflexion et d'amplification aux zones de séparation de différents tissus.

Nauman, sur l'oreille de lapin, en a montré un exemple typique avec décollement du tympan et hémorragies qui ne peuvent se rapporter à l'élévation thermique. De même Schwabb sur la cornée du lapin vivant, avec des intensités et des fréquences variées, obtient des lésions qu'il considère comme spécifiques de l'action des U.S.

Malgré cela, Hug nous invite à conclure prudemment et à ne pas attribuer à la cavitation, ou à l'agitation du contenu cellulaire, les démictions, vacuolisations, décollement des épithélium, altérations des parois vasculaires avec décollements d'intima et hémorragies, même lorsqu'elles semblent initiales, en cas d'intensités élevées.

Il est difficile de prouver un effet électif sur un tissu particulier et même les observations faites sur les ovaires, sur les os jeunes, sur les organes hématopoïétiques ne semblent pas susceptibles de généralisation.

Howath a examiné en effet l'action des U.S. sur des rates de souris et sur des moelles osseuses de souris et de lapin. Dans la rate, il trouve une destruction de tous les éléments sans dis-

tion, lorsque l'irradiation est forte et une destruction élective, des éléments leucopoïétiques en cas d'irradiation faible.

Sur des os de souris et de lapin, il trouve également une destruction des éléments de la leucopoïèse et de ceux de l'érythro-poïèse avec infarctus et nécrose. Mais, il n'en tire pas de conclusions définitives.

En essayant d'examiner la réaction de l'organisme dans son ensemble, certains auteurs ont décrit sur des rats, après irradiation d'une région musculaire circonscrite, une chute des lymphocytes et des éosinophiles du sang avec retour au-dessus de la normale après 24 heures.

En même temps l'analyse de la zone fasciculée de la cortico-surrénale montrait une diminution des substances acétono-solubles, et des substances soudanophiles et biréfringentes, tandis que la zone glomérulée restait inchangée ; 5 heures après le maximum des effets, on notait une concentration augmentée, au-dessus de la normale des corps en question. Ces effets à distance n'ont rien d'étonnant ; si on les place dans le cadre du Stress, et du syndrome d'adaptation de Selye. Mais rien ne prouve jusqu'ici, qu'on puisse invoquer ce mécanisme chez l'homme.

L'idée qui semble se dégager de plus en plus, et qui semble le plus en accord avec les observations récentes, est celle d'une action par le système nerveux végétatif.

Les succès dans l'asthme par applications sur le stellaire pouvaient le laisser pressentir, et Denier avait déjà comparé certaines applications d'U.S. à des sympathectomies.

Plusieurs auteurs déjà avaient signalé de curieux effets de réflexes contralatéraux, Brettschneider avait signalé un trouble contralatéral d'irrigation sanguine sur des animaux, et Hausser avait fait la curieuse observation que des tumeurs expérimentales implantées symétriquement évoluaient de façon analogue, alors même qu'une seule d'entre elles était traitée.

Rosenthal sur quelques-uns de ses malades, notait également des réactions urticariennes fugaces quelquefois contralatérales.

Stuhlfauth enfin avait montré qu'une forte application sur l'artère fémorale du chien peut provoquer une diminution du débit dans les coronaires. Il avait montré également, sur un

poumon tuberculeux collabé par pneumothorax, que la contraction du moignon pulmonaire, sous l'effet d'une application aux racines médullaires, ne pouvait s'expliquer que par un effet réflexe passant par les nerfs des parois thoraciques ou par le système végétatif, et il expliquait ainsi l'effet favorable ou défavorable suivant le dosage comme le résultat d'une action sur le tonus vagal.

En 1950, trois auteurs suisses : Tschannen, Sonnenschein et Zinn se sont attachés à l'étude de l'effet spasmodique réflexe, par chute du tonus de la musculature striée. Ayant observé une élimination rapide de spasmes durables par exemple dans la périarthrite scapulo-humérale, par un traitement prolongé à bas dosage des racines nerveuses segmentaires, ils supposent que les voies végétatives passant par les racines postérieures atteignent les centres médullaires du tonus.

En appliquant immédiatement à côté de l'apophyse épineuse des intensités de 0,1 à 0,6 watts en continu ou de 0,5 à 1,5 en application rythmée (fréquence 1/10^e) ils obtiennent très rapidement une amélioration articulaire par chute de l'hypertonus douloureux ; la mobilité des grandes articulations douloureuses était ainsi améliorée par traitement radiculaire, et éventuellement par quelques traitements locaux supplémentaires.

Mais ils ne pouvaient pas influencer des douleurs d'origine purement mécanique, chimique ou traumatique, et ils rejettent l'action analgésique propre des U.S. Ils considèrent cet effet spasmodique comme une des raisons principales du succès dans les sciatiques (qui d'après les Anglais et les Américains, sont dues presque uniquement à l'altération des disques).

Tschannen voit aussi dans l'altération du tonus musculaire, une explication de la genèse des troubles articulaires dans les cas d'arthrose déformante, qu'il ne considère plus seulement comme une maladie d'usure, mais comme un état neuropathologique d'irritation chronique.

Les auteurs suisses en ont étendu l'application thérapeutique pratique aux spasmes musculaires des fractures, des traumatismes, des hémiplegies, avec des résultats intéressants.

Dans le domaine des actions réflexes, signalons enfin que Kroner au cours d'applications abdominales, a observé des

améliorations d'hyperthyroïse, sans pouvoir toutefois en expliquer clairement le mécanisme.



Que pouvons-nous tirer de ces expériences si diverses et si intéressantes ?

Tout d'abord, c'est que la question est loin d'être tranchée sur le mécanisme d'action des U.S.

Quelle est l'importance de la participation sympathique ? Elle semble évidente dans les entorses, arthrites, spasmes et bien séduisante en accord avec les théories de Leriche et des auteurs suisses.

Quelle est l'importance de la participation hormonale ? Si on a pu observer une réaction chez le cobaye du type réaction au « Stress », quelle importance peut éventuellement occuper ce mécanisme chez l'homme, rien jusqu'ici nous le montre clairement.

Quelles analogies peut-on établir entre les U.S. et la protéinothérapie aspécifique, ou le choc colloïdoclasique ? La question a été posée, mais non résolue.

Il n'y a pas à se dissimuler que beaucoup des maladies généralement influencées sont de celles dont le traitement a déjà soulevé maints enthousiasmes — rhumatisme, asthme, ulcère gastrique — et dont l'étiologie reste encore imprécise.

Beaucoup d'empirisme demeure donc dans l'application à la thérapeutique humaine et c'est un point qu'il ne faut pas perdre de vue dans tout examen honnête de la question, mais qui doit nous inciter à un effort d'analyse.

Applications diagnostiques

Il est logique de penser à utiliser les ultra-sons au « sondage » de l'organisme, un certain nombre d'essais ingénieux ont été décrits récemment, mais aucun ne semble devoir jusqu'à maintenant, s'imposer en clinique. Keidel classe ces procédés en :

1° Procédés de transmission, où on étudie la nature du faisceau émergeant de la matière à analyser. C'est en somme un procédé d'absorption ;

2° Les procédés par réflexion, qui se basent sur le phénomène de l'écho.

Chaque procédé pourra être utilisé avec une vibration continue, ou avec une vibration discontinue. La détection se fera au moyen d'un récepteur en quartz piezo électrique, dont le courant, amplifié, sera ou lu directement ou transmis à un oscillographe cathodique.

Signalons également l'utilisation de l'interférométrie, où la différence de marche des ondes vibratoires engendre des phénomènes d'interférence, de la même façon que dans les interféromètres optiques.

Denier un des premiers explore avec un récepteur, le long du membre inférieur, les vibrations induites au niveau du grand trochanter, il décele une transmission osseuse jusqu'à la malléole péronnière, avec un renforcement au niveau des condyles fémoraux.

Dussik utilise depuis plusieurs années, un dispositif permettant d'explorer les ventricules cérébraux au moyen d'un faisceau d'U.S. de fréquence 500 à 1.200 Kcy.

L'absorption du faisceau étant très différente au niveau de l'air et de la matière cérébrale, on peut, en explorant des tranches successives, obtenir en 10 minutes une image correspondant à la configuration des ventricules, « l'hyperphonogramme ». L'interprétation (délicate) de ce tracé donnerait des résultats intéressants.

Keitel également a décrit un appareil destiné à enregistrer les variations du volume cardiaque, il utilise un émetteur à magnéto striction avec une fréquence de 60 Kc. situé près de la colonne vertébrale, un récepteur placé près du cœur enregistre les vibrations qui sont ensuite transformées en courant à basse fréquence que l'on amplifie et enregistre à l'oscillographie cathodique, avec un enregistrement de temps parallèle. Comme le rapport des coefficients absorption air/eau est d'environ 1.700/1 pour la vibration utilisée, on voit qu'on peut enregistrer les variations d'épaisseur du cœur, dans une zone choisie.

Pohlman récemment a indiqué un procédé élégant de mesure du CO_2 dans l'air expiré. Il est basé sur la grande différence du coefficient d'absorption des vibrations par CO_2 , vis-à-vis des coefficients des autres gaz qui sont assez voisins ; l'absorption totale est donc proportionnelle à la teneur en CO_2 .

Keitel a décrit également un manomètre, dont la membrane fait réflecteur entre un émetteur et un récepteur, le déplacement de cette membrane se traduit par une différence de marche dans les ondes réfléchies, et est mesuré par interférométrie.

Enfin, nous signalerons encore les recherches faites en Amérique, au laboratoire de la Marine, sur la possibilité de déceler des calculs vésiculaires, ou d'autres corps étrangers de l'organisme, par écho : les vibrations utilisées étaient de l'ordre de 1 à 2,5 m.c. La vitesse du son dans les calculs de densité 0,82 à 1,10, variait de 1.400 à 2.000 m/s. alors qu'elle atteint 1.540 m. sec. dans les tissus, l'impédance des calculs également examinée rend leur détection possible à condition de ne pas rencontrer de couche aérienne qui réfléchirait en presque totalité.

Signalons enfin que l'on a proposé d'utiliser les U.S. de préférence aux moyens pharmaceutiques pour provoquer l'hyperkinésie gastrique au cours des radiographies.

Toutes ces techniques, malgré leur intérêt théorique, ne semblent pas offrir de supériorité sur les méthodes d'investigation appliquées actuellement aux mêmes objets.

Dangers

Il faut évidemment examiner la question des lésions que peut amener l'ultra-son :

soit chez le malade par un dosage intempestif, ou une prédisposition organique ;

soit chez le médecin qui peut être amené à un contact réitéré avec les U.S.

Comme dans toute thérapeutique nouvelle, il est naturellement indispensable d'agir avec la plus grande prudence.

En principe, on s'abstiendra de soumettre aux ultra-sons les organes suivants :

Zone de croissance des os des enfants et adolescents ;

Glandes génitales ;

Utérus gravide ;

Crâne (sauf cas particuliers) ;

Tumeurs, dont nous avons déjà longuement parlé ;

enfin dans les applications au cœur, aux yeux, aux organes sans homogénéité tissulaire : poumon, intestins, il faudra montrer la plus grande circonspection.

On peut craindre en particulier chez des vieillards ou des cardiaques à équilibre précaire, des crises d'angor par vasoconstriction coronaire réflexe.

On citera encore l'actinomycose et la tuberculose. Il est vraisemblable que cette liste se modifiera par la suite.

En particulier on peut penser que certaines glandes fragiles, telles que les surrénales, la thyroïde, certaines zones réflexes, telles les zones sino-carotidiennes, doivent être considérées avec beaucoup de respect.

Pour le médecin, rien n'a été signalé de semblable aux maladies professionnelles connues jusqu'ici pour être produites par les U.S. telles que :

troubles de l'équilibre,

fatigue intense,

lésions articulaires et nerveuses

(mais elles sont causées par des sons de fréquence beaucoup plus basses).

On pourrait craindre un effet de sommation et il peut être judicieux de s'isoler les mains avec des gants de caoutchouc, ou de munir l'appareil d'un manche absorbant en caoutchouc.

En résumé, si peu d'accidents ont été signalés jusqu'ici, nous voulons croire que c'est parce que la vigilance et la prudence des expérimentateurs étaient constamment en éveil.

En effet, l'activité biologique de ces radiations est intense, et il est certain que la sensibilité est très différente selon les tissus. Avant tout, se pose donc la question du dosage. Souvent, on se guide sur la sensation du malade. Est-ce là un bon critère, est-il valable pour tous les tissus ? Probablement non.

Ces quelques réflexions nous inciterons donc à la plus grande prudence dans l'utilisation des U.S.

Nous résumons dans un bref tableau ci-après les modalités d'application habituellement pratiquées dans les cas les plus courants.

SCHÉMA D'UTILISATION DES U.S.

Indications	Points d'application	Mode d'application (1)	Durée en minutes	Intensité totale en watt	Nombre de séances
Acroparesthésie					(Voir névralgies cervico-brachiales)
Acouphène	Mastoïde Emergence gd nerf occipital	C	3	0,05-1	12
Artérites	Fémorale et tibiale Postérieure, zone lombaire Périvertébrale Eviter vésiculation	C	7-10	4-5	10-12
Arthrite Grosses articulations	Localement : Cordons vascul. et racines	C	8-12 3	3-5 4-5	8-10
Arthrite Petites articulations	Localement : Couches vascul. Veines principales	C	6-10 3	1-3 4-5	6-8
Asthme	Ganglions stellaires Apophyse épineuse 7 ^e cervicale ou thorax chaque côté du sternum, 1 ^{re} , 2 ^e , 3 ^e côtes	C	12	2,5-4	
		C	8-12	2,5-4	10-15
Emphysème					
Arthrose sénile déformante	Localement : Vaisseaux	C C	8-10 3	6-10 3-5	7-10

Indications	Points d'application	Mode d'appli- cation (1)	Durée en minutes	Intensité totale en watt	Nombre de séances
Adhérences post-opér	Localement	C.S.E	6-10	3,5-5	4-6
Blessures	(Post-traitement), loc.	C.S.E	8-12	1,5-4	6-10
Bursite	Localement	C.S.E	6-10	2-3,5	4-6 quot.
Cellulite	Localement	SE	6-10	2-4	18
Coxarthrose	Localement et points douloureux	C	10-12	2-6	12-20
Enurésie	Périnée, sacrum	C.S.E	8-10	1,5-2,5	8-12
Enforse	Interligne et sur in- sertions tendineu- ses	C SE	8-10 8-10	2-5 2-5	6
Epicondylites	Localement : Avant-bras	C C	6 6	2-4 2,5-4	6-8
Erythème noueux	Localement	C	6-8	2-4	8-12
Furoncles	Localement	SE matelas eau	4-6	2	4-6 quot.
Herpès - Zona	Localement	C	8-2	1-3	6-10
Myalgies	Localement	C	8-10	1,5-3	6-8
Névralgies	Localement	C	8-12	1,5-2,5	8-12
Névralgies : brachiale	Localement : Racines cervicales	C	6-10	1,5-3	12-15
	Trapèze	C	6-8	2-6	6-12
cervico- brachiale	Localement : Sur mastoïde et lo- calement	C	4-6	0,5-3	10-12
faciale	Localement	C	8-2	1,5-2,5	6-12
intercostale	Localement :	C	4-6	2-4	6-10
occipitale	Emergence grd nerf Arnold des 2 côtés	C	4-6	2-4	6-10
sciatique du trijumeau	Voir sciatique 2°, 3° rameau	C	4-6	0,5-1,5	
Névrites	Trajet du nerf	C C	6-8 3	3-5	
Œdèmes	Localement : Ganglion lymphati- que	C	5	1-2	6-8
Pachydermite	Localement	SE	6-10	2-4	18
Périarthrite épaule	Gouttière bicipitale Interligne en avant	C	7-10	3,5-5	6-8

Indications	Points d'application	Mode d'appli- cation (1)	Durée en minutes	Intensité totale en watt	Nombre de séances
Prostatite	Périnée	C.SE	8-10	3,5-5	4-6
Rétractions pulmonaires	Localement	SE	5-8	7-10	6-10
Sciatiques	Racine nerf	C	4	5	8-12
	Trajet nerf	C	8-12	3,5-5	
Troubles circulatoires	Localement	C.SE	6-8	4-16	
Thrombophlébite oblitérante	Troncs Vaisseaux	C	3-5	4-5	10-15
Ulcères trophiques	Bords de l'ulcère	C	3-5	0,5-2	6-12
		SE matelas	6-10	2-4	6-12
Zona	(Voir Herpès)				

(1) Mode d'application :
C = contact direct ;
SE = sous eau.

CONCLUSION

L'utilisation thérapeutique de l'activité biologique intense des ultra-sons repose dès à présent sur des bases solides.

Dans la plupart des cas et avec les puissances utilisées actuellement, l'effet enregistré sur le corps humain semble pouvoir se ramener en dernière analyse principalement à l'élévation de température induite dans les différents tissus, à une profondeur plus ou moins grande.

Les phénomènes observables « in vitro » tels que la cavitation, les oxydations, dépolymérisations, modifications de la perméabilité cellulaire, n'interviennent habituellement pas en thérapeutique humaine, ou dans des proportions minimes.

Les phénomènes les plus importants constatés chez l'homme semblent se ramener à une vasodilatation intense, avec augmentation du métabolisme cellulaire, et atteinte prépondérante des tissus nerveux.

Dans de nombreux cas, il semble indéniable que l'on obtient un résultat meilleur que celui obtenu par d'autres agents physiques et notamment dans les sciaticques, lumbagos, périarthrites scapulo-humérales, coxarthrites, ankyloses fibreuses, dans l'asthme, dans certaines algies musculaires ou nerveuses, dans certains spasmes.

Beaucoup d'autres indications plus ou moins judicieuses ont été proposées.

Tout en se gardant de vouloir généraliser à l'extrême, on peut espérer, des développements très intéressants pour la thérapeutique et peut-être aussi pour le diagnostic, des nombreuses recherches en cours.

Vu : *Le Doyen,*
L. BINET.

Vu : *Le Président de Thèse,*
H. BENARD.

Vu et permis d'imprimer :

LE RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS
SARRAILH.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAM (A.). — Ultraschallbehandlung im Kindesalter (*Msch. Kinderheilkunde*, 97, 1949, 391).
- ANSTETT (P.). — 60 cas d'asthme traités par les ultra-sons (*Lyon Médical*, 26-27 juin 1948).
- ANSTETT. — Les U.S. et leurs propriétés. Applications thérapeutiques. Présentation de l'appareil (*Lyon Médical*, n° 51, 18, 12, 49).
- ANSTETT. — Les U.S. en thérapeutique (*Le Monde Médical*, mars 1951, p. 249).
- BADTKE (G.). — Ultraschallwellenwirkung am Auge (*Arch. Phys. Therapie*, 2, 1950, 119).
- BARREAU. — (*Paris Médical*, janv. 50, p. 23).
- BARTH (G.) und K. v. SANDEN. — Dosierungsfragen der Ultraschalltherapie (*Deutsche Med. Wschr.*, 75, 1950, 179).
- BAUD (R. V.). — Ultraschall-Diagnostik im Materialprüfungswesen, Übersicht, Erfahrungen und Entwicklungen (*Der Ultraschall in der Medizin*, 1, 1949, 62).
- BORN (H.). — Ueber den Ein ub des Interferenzfeldes auf die Dosierung bei der Ultraschalltherapie (*Der Ultraschall in der Medizin*, 1, 1949, 40).
- BRÜNER (H.) et RINDFLEISCH (H.). — Ueber die biologische Wirkung von Ultraschall (*Naturwiss*, 34, 1947, 347).
- BUCHTALA (V.). — Schädigungsmöglichkeiten und Schädigungen in der Ultra-schalltherapie (*Arztl. Wschr.*, 25, 1950).
- BUQUARD. — Les ultra-sons, action biologique (*Atomes*, 5, 1950, 3).
- BUGARD. — Die Ultraschallwellen (*Atomes*, 1949, 199).
- COLOMBATIS (S.) et PETRALIA (S.). — Assorbimento di ultrasuoni in tessuti animali (*Ric. Scient.*, 20, 1950, 71).
- DENIER (A.). — Ultrasonoscope in medicine (*C.R. Acad. Sci.*, Paris, 222, 1946, 785).
- DENIER (A.). — Les ultra-sons ; leurs applications au diagnostic : Ultra-Sonoscopie, et à la thérapeutique : Ultra-Sonothérapie (*La Presse Médicale*, 1946, 307, et *J. Radiol. et Electroradiol.*, 27, 1946, 481).
- DENIER (A.). — Ultrasons et diencephale (*J. de Radiologie*, 29, 1948, 278).

- DENIER (A.). — Les ultra-sons. Leurs actions physiologiques et biologiques. Leurs applications à la médecine (*Archives Internationales de Neurologie*, 1949).
- DENIER (A.). — Action des ultra-sons sur la motricité gastro-intestinale (*J. Radiol. et Electrol.*, 30, 1949, 349).
- DESGREZ et MALINVAUX. — U.S. en rhumatologie (*Paris Médec.*, 1949, 137, n° 28).
- DOGNON (A.) et BIANCANI (E. et H.). — Ultrasons et biologie. Paris, Gauthier-Villars, 1937.
- DOGNON (A.) et BIANCANI (E. et H.). — Les ultrasons et leurs actions biologiques (*Radiologica*, 3, 1938, 40).
- DOGNON (A.) et SIMONOT (Y.). — Relations entre les échauffements et la cavitation dans les milieux soumis aux ultra-sons (*C.R. Acad. Sci. Paris*, 228, 1949, 990).
- DUSSIK (K.-Th.). — Ultraschalldiagnostik, insbesondere bei Gehirnerkrankungen mittels Hyperphonographie (*Z. f. Phys. Therapie* [Osterr.], 1, 1948, 140).
- DUSSIK (K.). — Ultraschallanwendung in der Diagnostik und Therapie der Erkrankungen des zentralen Nervensystems (*Der Ultraschall in der Medizin*, 1, 1949, 283).
- FANUCCHI (F.) et BUSSI (L.). — Il fattore gradiente di pressione sull'effetto distruttivo degli ultrasuoni sul testicolo del ratto (*Biologia Latina*, 2, 1949, 202).
- FANUCCHI (F.) et BUSSI (L.). — La terapia con gli ultrasuoni del « reumatismo vertebrale » (*Reumatismo*, 1, 1949).
- FLORISSON (C.). — Les ultra-sons et leurs applications (*Bull. Soc. Belg. Electr.*, 1936, Nr. 1-3).
- GOHR (H.) et WEDEKIND (Th.). — Der Ultraschall in der Medizin (*Klin. Wschr.*, 19, 1940, 25).
- GRABAR (P.) et PRUDHOMME (R.-O.). — Action des ultra-sons sur les macromolécules (*J. Chim. Phys.*, 44, 1947, 145).
- HAYASHI (S.). — Einflüsse der Ultraschallwellen auf das Wachstum des Rattensarkoms (*J. Med. Sci. Biophysics, Japan*, 5, 1938, 162).
- HINTZELMANN (U.). — Ultraschalltherapie rheumatischer Erkrankungen (*Deutsch. Med.*, 72, 1947, 350).
- HINTZELMANN (U.). — Ultraschalltherapie rheumatischer Erkrankungen. 2. Mitteilung (*Deutsche Med. Wschr.*, 74, 1949, 869).
- HORVATH (J.). — Ultraschallbehandlung der Ischias (*Asklepios*, 1, 1948, 1).
- HORVATH (J.) et LENNERT (K.). — Über den Einfluß der Ultraschwellen auf blutbildende Organe (*Der Ultraschall in der Medizin*, 1, 1949, 180).
- KEIDEL (D.). — Über eine neue Methode zur Registrierung der Volumenänderungen des Herzen am Menschen (*Der Ultraschall in der Medizin*, 1, 1949, 68).

- LEHMANN (J.). — Über die Temperaturabhängigkeit therapeutischer Ultraschallreaktionen (*Der Ultraschall in der Medizin*, 1, 1949, 159).
- LEHMANN (J.). — Beitrag zur therapeutischen Ultraschallwirkung (*Strahlentherapie*, 82, 1950, 281).
- LEHMANN (J.) et BECKER (G.). — Über die permeabilitätssteigernde Wirkung von Ultraschallwellen auf biologische Membranen (*Strahlentherapie*, 79, 1949, 553).
- LEHMANN (J.) et VORSCHÜTZ (R.). — Über die biologische Wirksamkeit der Impulsschallwellen als Beitrag zum therapeutischen Wirkungsmechanismus der Ultraschallwellen (*Strahlentherapie*, 81, 1950, 639).
- MARINESCO (N.). — Propriétés piézo-chimiques, physiques, physiologiques et bio-physiques des ultra-sons I et II (Actualité sci. et ind., 522-523, Paris, Herman et Cie, 1937).
- NODL (F.). — Histologische Veränderungen nach Ultraschallbehandlung (*Arch. f. Derm.*, 189, 1949).
- POHLMAN (R.), RICHTER (R.) et PAROW (E.). — Über die Ausbreitung und Absorption von Ultraschall im menschlichen Gewebe und seine therapeutische Wirkung an Ischias und Plexusneuralgie (*Dtsch. Med. Wschr.*, 65, 1939, 251).
- POHLMAN (R.). — Über die mechanische und chemische Festigkeit biologischer Substanzen als Beitrag zum ultraschalltherapeutischen Wirkungsmechanismus (*Der Ultraschall in der Medizin*, 1, 1949, 131).
- POHLMAN (R.). — Die Ultraschalltherapie in ihrer heutigen Entwicklungen (*Schweiz. Med. Wschr.*, 79, 1949, 754).
- PROTOPOPOW (B.-A.). — Altern von Likör und anderen alkoholischen Getränken (*Russ. Patent*, 59911, 1938).
- PRUDHOMME (R.-O.) et GRABAR (P.). — A propos de l'extraction des constituants cellulaires par les ultra-sons (*Annales de l'Institut Pasteur*, 76, 1949, 460).
- PRUDHOMME (R.-O.) et GRABAR (P.). — Dépolymérisations sous l'action des ultra-sons (*J. Chimie Physique*, 46, 1949, 667).
- ROSENTHAL. — (*J. Aviat. Med. U.S.A.*, 1950, 21, N° 3, 265, 72).
- SCHLIEPHAKE (E.). — Ultraschall bei Gelenkerkrankungen (*Der Ultraschall in der Medizin*, 1, 1949, 255).
- SCHMITZ (W.). — Der Einfluß von Ultraschall auf den Froschnerven (*Der Ultraschall in der Medizin*, 1, 1949, 171).
- STUHLFAUTH (K.). — Wirkungen des Ultraschalls am Gefäßsystem (*Der Ultraschall in der Medizin*, 1, 1949, 317).
- UNGEHEUER (E.). — Unsere Erfahrungen mit Ultraschall (*Strahlentherapie*, 79, 1949, 619).
- WACHSMANN (F.). — Applikations-technik und Dosierung bei therapeutischen Ultraschallbehandlungen (*Strahlentherapie*, 79, 1949, 529).

WOEBER (Kh.). — Untersuchungen über die Wirkung des Ultraschalls auf Mäuse — und Rattentumoren (*Strahlentherapie*, 79, 1949, 563).

ZINN (W.) et SONNENSCHN (V.). — Ergebnisse der Ultraschalltherapie rheumatischer und degenerativer Gelenkerkrankungen (*Deutsche Med. Wschr.*, 1950, 827).

Der Ultraschall in der Medizin.

1. — (1949) et S. HIRZEL, Verlag, Zurich. Edit.
2. — (1950) et S. HIRZEL, Verlag, Stuttgart. Edit.

TABLE DES MATIERES

Introduction	1
CHAPITRE PREMIER	
Généralités sur les vibrations élastiques	2
I. — Echelle des sons	2
II. — Données physiques	3
III. — Production des ultra-sons	6
CHAPITRE II	
Effets physico-chimiques des ultra-sons	9
CHAPITRE III	
Effets biologiques des ultra-sons	11
Sur les cellules	11
Les organismes pluricellulaires	11
CHAPITRE IV	
Applications à l'homme	13
Généralités	13
Action dans les algies nerveuses et rhumatismales	17
Action dans l'asthme	22
Applications en chirurgie	23
Applications en pédiatrie	26
Applications en otologie	27
Applications aux yeux	28
Mécanisme d'action	29
Applications diagnostiques	35
Dangers	38
Conclusion	43
Bibliographie	44